

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет електроніки та комп'ютерних технологій
Кафедра радіофізики та комп'ютерних технологій

Затверджено

На засіданні
кафедри радіофізики та комп'ютерних
технологій
факультету електроніки та комп'ютерних
технологій
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 15/кз від 29.08 2023 р.)

Завідувач кафедри:


Іван КАРБОВНИК

Силабус з навчальної дисципліни
“Операційні системи реального часу”,
що викладається в межах ОПП
“Інженерія програмного забезпечення”
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Операційні системи реального часу
Адреса викладання дисципліни	Корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Драгоманова 50, м. Львів, 79005, вул. Ген. Тарнавського 107, м. Львів, 79011
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій Кафедра радіофізики та комп'ютерних технологій
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	12 – інформаційні технології 121 – Інженерія програмного забезпечення
Викладачі дисципліни	Карбовник І.Д., доктор фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри радіофізики та комп'ютерних технологій
Контактна інформація викладачів	ivan.karbovnyk@lnu.edu.ua , https://electronics.lnu.edu.ua/employee/karbovnyk-i-d
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю): ауд. 324, корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, вул. Тарнавського 107, м. Львів Також можливі он-лайн консультації через MS Teams. Для погодження часу он-лайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача.
Сторінка курсу	
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Операційні системи реального часу” є нормативною дисципліною з спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення для освітньої програми “Інформаційні системи та технології”, яка викладається у 7-му семестрі в обсязі 4-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс розроблено для ознайомлення студентів з фундаментальними принципами програмування систем реального часу з апаратно обмеженими ресурсами.
Мета та цілі дисципліни	<i>Мета:</i> вивчити основи архітектури програмного забезпечення систем реального часу, планування, способи роботи з ресурсами, перериваннями та паралельними потоками. <i>Цілі:</i> продемонструвати студентам особливості багатозадачних ОС у реальному часі, стратегії планування, структури пріоритетів та керування завданнями а також можливості керування пам'яттю та спільного використання коду.
Література для вивчення дисципліни	Основна література 1. Barry R. Mastering the FreeRTOS Real Time Kernel: Hands-On Tutorial Guide / R. Barry. – Real Time Engineers Ltd., 2016. – 399 p. https://www.freertos.org/fr-content-src/uploads/2018/07/161204_Mastering_the_FreeRTOS_Real_Time_Kernel-A_Hands-On_Tutorial_Guide.pdf 2. Wang K.C. Embedded and Real-Time Operating System: textbook / K. C. Wang. – Springer, 2023. – 851 p. /https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-28701-5#bibliographic-information 3. Amos B. Hands-On RTOS with Microcontrollers: Building real-time embedded systems using FreeRTOS, STM32 MCUs, and SEGGER debug tools

	<p>/ B. Amos. – Packt Publishing, 2020. – 496 p. https://www.amazon.com/Hands-RTOS-Microcontrollers-Building-real-time/dp/1838826734</p> <p>4. Henschen L. J., Lee J. C. Embedded System Design: Methodologies and Issues. 1st Edition /L. J. Henschen, J. C. Lee.– Morgan Kaufmann, 2023. 525 p. https://www.amazon.com/dp/0443184704?tag=uid10-20</p> <p>Допоміжна література</p> <p>5. Kopetz H., Steiner W. Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications/H. Kopetz, W. Steiner. –Springer Cham, 2022. – 406 p. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-11992-7</p>
Обсяг курсу	<p>Загальний обсяг: 120 годин. Аудиторних занять: 64 год., з них 32 год. лекційних та 32 годин лабораторних робіт. Самостійної роботи: 56 год.</p>
Очікувані результати навчання	<p>У результаті вивчення даного курсу студент буде:</p> <p>знати:</p> <p>відмінності між системами реального часу та систему на основі логіки, теорію алгоритмів планування, методологію створення однозадачних та багатозадачних програми за допомогою операційної системи реального часу;</p> <p>вміти:</p> <p>розставляти пріоритети завдань у системі реального часу за допомогою монотонного аналізу, синхронізувати завдання, створені в операційній системі за допомогою семафорів і м'ютексів, аналізувати продуктивність програми реального часу за допомогою статистики.</p> <p>Після вивчення даного курсу “Операційні системи реального часу” студенти набудуть таких Загальних та Фахових компетентностей та Програмних результатів навчання:</p> <p>ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.</p> <p>ЗК02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК04. Здатність спілкуватися іноземною мовою як усно, так і письмово.</p> <p>ЗК06. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ФК14. Здатність брати участь у проектуванні програмного забезпечення, включаючи проведення моделювання (формальний опис) його структури, поведінки та процесів функціонування.</p> <p>ФК15. Здатність розробляти архітектури, модулі та компоненти програмних систем.</p> <p>ФК19. Володіння знаннями про інформаційні моделі даних, здатність створювати програмне забезпечення для зберігання, видобування та опрацювання даних.</p> <p>ФК22. Здатність накопичувати, обробляти та систематизувати професійні знання щодо створення і супроводження програмного забезпечення та визнання важливості навчання протягом всього життя.</p> <p>ПРН05. Знати і застосовувати відповідні математичні поняття, методи доменного, системного і об’єктно-орієнтованого аналізу та математичного моделювання для розробки програмного забезпечення.</p> <p>ПРН08. Вміти розробляти людино-машинний інтерфейс.</p> <p>ПРН15. Мотивовано обирати мови програмування та технології розробки для розв’язання завдань створення і супроводження програмного забезпечення.</p> <p>ПРН16. Мати навички командної розробки, погодження, оформлення і випуску всіх видів програмної документації.</p>

Ключові слова	операційні системи, багатозадачність, обчислення у реальному часі
Формат курсу	Очний
Теми	<p>Тема 1. <i>Вступ до систем реального часу.</i></p> <p>Тема 2. <i>Основні визначення систем реального часу.</i></p> <p>Тема 3. <i>Апаратні вимоги.</i></p> <p>Тема 4. <i>Спеціалізовані процесори та інтерфейси.</i></p> <p>Тема 5. <i>Мови для програм реального часу.</i></p> <p>Тема 6. <i>Керуючі структури та низькорівневі засоби.</i></p> <p>Тема 7. <i>Багатозадачні ОС реального часу.</i></p> <p>Тема 8. <i>Керування завданнями і планувальники.</i></p> <p>Тема 9. <i>Керування пам'яттю та код-шерінг.</i></p> <p>Тема 10. <i>Дизайн систем реального часу.</i></p> <p>Тема 11. <i>Типи RTOS. Ч. 1.</i></p> <p>Тема 12. <i>Типи RTOS. Ч. 2.</i></p> <p>Тема 13. <i>Приклади реалізації RTOS.</i></p> <p>Тема 14. <i>Azure RTOS ThreadX.</i></p> <p>Тема 15. <i>Приклади застосувань FreeRTOS.</i></p> <p>Тема 16. <i>Еволюція операційних систем реального часу.</i></p>
Підсумковий контроль, форма	Екзамен у кінці семестру
Пререквізити	<p>Для вивчення даного курсу студентам потрібні базові знання з курсів:</p> <ul style="list-style-type: none"> - архітектура комп'ютерів і комп'ютерна електроніка; - основи вбудованих систем; - операційні системи, системне програмування; - алгоритмізація і програмування; - об'єктно-орієнтоване програмування.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	<p>Інформаційні методи (лекція, бесіда, ілюстрація, демонстрація);</p> <p>дедуктивні методи на основі узагальнень;</p> <p>евристичні методи (проблемна лекція);</p> <p>інтерактивні методи (дискусія).</p>
Необхідне обладнання	<p>Для проведення лекційних занять: мультимедійне обладнання (телевізор з діагоналлю не менше 55 дюймів або проектор). Ноутбук (процесор Apple M1 або Intel Core i5, 8 Гб або більше оперативної пам'яті). Доступ до мережі Інтернет, програмне забезпечення MS Teams.</p> <p>Для проведення лабораторних занять: навчальний комп'ютерний клас (процесор Intel Core i3, частота 3.40 ГГц, 8 Гб оперативної пам'яті, 20 Гб вільного місця на диску). Необхідне програмне забезпечення включає в себе ОС Windows/Ubuntu, інтегральне середовище розробки Espressif IDE та фреймворк розробника ESP-IDF, а також середовище Visual Studio Code.</p>
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <p>Змістовий модуль 1: 25 балів</p> <p>Змістовий модуль 2: 25 балів</p> <p>Модульний контроль у вигляді тестування у системі Moodle. Максимальна кількість балів за тест – 10 балів.</p> <p>Екзамен з курсу: Максимальна кількість балів 50.</p>

Екзамен складається з результатів модульної контрольної (максимальна кількість балів - 10), виконання практичного завдання по тематиці лабораторних робіт (максимальна кількість балів – 20) та усної співбесіди з викладачем (максимальна кількість балів – 20).
Підсумкова максимальна кількість балів 100.

Поточне тестування та самостійна робота																Підсумковий тест (екзамен)	Сума
Змістовий модуль 1								Змістовий модуль 1									
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16		
3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	50	100

Оцінювання лабораторних робіт (14 лабораторних робіт, максимальна кількість балів: 50) відбувається шляхом оцінки роботи студента під час проведення лабораторної роботи в аудиторії та захисту звіту по виконаній лабораторній роботі (0-5 балів за одну роботу). У підсумку, всі набрані бали множаться на коефіцієнт (0,714) для переведення у 50-ти бальну шкалу.

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

5 – студент в повному обсязі володіє навчальним матеріалом, має повне розуміння розглянутої теми, надає правильні відповіді на запитання по темі, код програми функціонує відповідно до завдання;

4 – студент достатньо розуміє розглянутий матеріал та принципи написаного ним коду програми, присутні неточності та незначні помилки у відповідях на запитання по темі, код програми функціонує відповідно до завдання (або з несуттєвими недоліками);

3 – студент не досить добре розуміє розглянутий матеріал та написаний ним код програми, вагається та надає неточні/не конкретні відповіді на запитання по темі, код програми функціонує неточно, або з помірними недоліками;

2 – студент погано розуміє розглянутий матеріал та написаний ним код програми, студент в більшості надає помилкові відповіді на питання по темі, код програми функціонує з суттєвими недоліками;

1 – студент погано розуміє розглянутий матеріал та написаний ним код програми, код програми не функціонує належним чином;

0 – студент зовсім не засвоїв розглянутий матеріал, написаний ним код програми не відповідає темі/не функціонує взагалі.

Оцінювання змістових модулів (2 змістових модулів). Оцінювання змістовних модулів включає в себе результати захисту лабораторних робіт та результати модульного контролю.

Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Списування та втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в написанні завдань є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.

Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні заняття курсу. Студенти

	<p>повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p>Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані при поточному контролі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p> <p>Критерії оцінювання результатів неформальної освіти: Нарахування балів відбувається за написання студентом тез доповідей на конференціях, наукових статей, участь у діяльності наукових гуртків, участь у наукових семінарах та круглих столах, конкурсах, участь у заходах неформальної освіти за отримання сертифікатів про проходження навчання на різних освітніх платформах (Coursera, Prometheus тощо), курсах на провідних ІТ компаніях за тематикою навчальної дисципліни. Кількість балів визначається відсотком покриття результатів відповідної активності до вимог результатів навчання з навчальної дисципліни.</p>
<p>Питання до екзамену</p>	<p>Типи операційних систем реального часу (RTOS). Жорсткі системи реального часу. Тверді системи реального часу. М'які системи реального часу. Різниця між жорсткою та м'якою системами реального часу. Різниця між твердою та м'якою системами реального часу. Частини та компоненти RTOS. Планувальник. Керування пам'яттю. Циклічне планування. Гібридне планування. Симетрична багатопроцесорна обробка (SMP). Бібліотеки функцій. Бібліотека POSIX. Швидка затримка відправлення. Визначені користувачем об'єкти та класи даних. Переваги ОСРВ. Недоліки ОСРВ. Методи повторного входу. Динамічні змінні стеку. Глобальні та статичні змінні з семафорами. Змінні завдання. Структура шару. Вбудована програма реального часу Файлова система. Мережа WindNet.</p>
<p>Опитування</p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

**Схема курсу “ Операційні системи реального часу ”
для студентів спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення**

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)* *лекція, самостійна, дискусія, групова робота)	Література.** * Ресурси в інтернеті	Завдання, год	Термін виконання
1	Вступ до систем реального часу. Історичний досвід, елементи системи керування обчислювальною системою	Лекція	[3]	2	кінець поточного тижня
1	Лаб. 1. Вступне заняття	Лабораторна робота	Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
2	Визначення системи реального часу, класифікація систем у режимі реального часу, часові обмеження, класифікація програм	Лекція	[4]	2	кінець поточного тижня
2	Лаб. 2. Розготання інфраструктури проекту для мікропроцесора ESP8266/ESP32	Лабораторна робота	https://github.com/espressif/esp-idf	2	кінець поточного тижня
3	Апаратні вимоги для застосувань, які працюють в реальному часі Однокристалні мікрокомп'ютери та мікроконтролери	Лекція	[4]	2	кінець поточного тижня
3	Лаб. 3. Ознайомлення з RTOS портом для ESP8266	Лабораторна робота	https://github.com/espressif/ESP8266_RTOS_SDK	2	кінець поточного тижня
4	Спеціалізовані процесори, пов'язані з процесами інтерфейси, методи передачі даних, зв'язок, стандартні інтерфейси	Лекція	[1], [3]	2	кінець поточного тижня
4	Лаб. 4. Ознайомлення з FreeRTOS для ESP-IDF	Лабораторна робота	https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/system/freertos.html	2	кінець поточного тижня
5	Мови для програм реального часу. Компонування синтаксису та читабельність, оголошення та ініціалізація змінних і констант, модульність і змінні, компіляція модульних програм, типи даних	Лекція	[1], [3], Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
5	Лаб. 5. Розробка тестового однопоточкового додатку під FreeRTOS для ESP8266	Лабораторна робота	Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
6	Керуючі структури, обробка винятків, низькорівневі засоби, співпрограми, переривання та обробка пристроїв, паралелізм, підтримка в реальному часі	Лекція	[1], [2]	2	кінець поточного тижня
6	Лаб. 6. Розробка тестового однопоточкового додатку під FreeRTOS для ESP32	Лабораторна робота	Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
7	Багатозадачна ОС реального часу, стратегії планування, структури	Лекція	[1], [2]	2	кінець поточного тижня

	пріоритетів				тижня
7	Лаб. 7. Розробка тестового багатопотокового додатку під FreeRTOS для ESP8266	Лабораторна робота	Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
8	Керування завданнями, планувальник і обробник переривань годинника реального часу	Лекція	[1], [2], [3] Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
8	Підсумкове заняття ЗМ 1	Лабораторна робота	Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
9	Керування пам'яттю, спільне використання коду, контроль ресурсів, співпраця та зв'язок із завданнями, взаємне виключення	Лекція	[1], [2], [3]	2	Кінець поточного тижня
9	Лаб. 8. Розробка тестового багатопотокового додатку під FreeRTOS для ESP32	Лабораторна робота	Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
10	Дизайн систем реального часу. Загальні принципи. Технічна документація, Ескізний проект. Однопрограмний підхід	Лекція	[1], [2], [3]	2	кінець поточного тижня
10	Лаб. 9. Ознайомлення з портом Free RTOS для STM32	Лабораторна робота	Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
11	Типи RTOS. Системи «Polled loops»	Лекція	[1], [2]	2	кінець поточного тижня
11	Лаб. 10. Розробка тестового однопотокового додатку для STM32	Лабораторна робота	Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
12	Типи RTOS. Системи, керовані перериваннями	Лекція	[2], [3]	2	кінець поточного тижня
12	Лаб. 11. Розробка тестового багатопотокового додатку для STM32	Лабораторна робота	Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
13	Приклади реалізацій RTOS. PCOS RTOS, Lynx, RT Linux	Лекція	[1], [2]	2	кінець поточного тижня
13	Лаб. 12. Ознайомлення з Azure RTOS ThreadX на прикладі реалізації на процесорі Renesas	Лабораторна робота	Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
14	Azure RTOS ThreadX.	Лекція	https://github.com/azure-rtos/threadx	2	кінець поточного тижня
14	Лаб. 13. Розробка додатку з Azure RTOS ThreadX	Лабораторна робота	https://www.renesas.com/us/en/document/apn/azure-rtos-tracex-azure-rtos-threadx-debugging	2	кінець поточного тижня
15	Приклади застосувань FreeRTOS. Порти FreeRTOS	Лекція	[1], [2]	2	кінець поточного тижня
15	Лаб.14. Комунікація між процесорами, які виконують RTOS задачі	Лабораторна робота	https://www.renesas.com/us/en/document/apn/azure-rtos-tracex-azure-rtos-threadx-	2	кінець поточного тижня

			debugging		
16	Еволюція операційних систем реального часу. RTOS та AI.	Лекція	https://www.digital-business-hub.com/future-of-rtos/	2	кінець поточного тижня
16	Підсумкове заняття ЗМ2	Лабораторна робота	Сайт курсу	2	кінець поточного тижня